ChinaXiv合作期刊



发展空间科学是建设世界科技强国的重要途径*

chinaXiv:201706.00298v1



吴 季

中国科学院国家空间科学中心 北京 100190

摘要 习近平总书记在2016年提出了建设世界科技强国“三步走”的战略，为我们设立了宏伟的目标。要想实现这个目标，我们国家在前沿基础研究领域就必须加大投入，实现重大突破。长期以来，作为发展中国家，我国在空间科技领域的投入，大都用于应用卫星，比如气象卫星、通信卫星等，而在空间科学卫星领域少有投入。纵观世界科技发展，重大基础前沿的突破逐渐依赖于国家重大科技工程，其一是建设地面大科学装置，如加速器、大型天文望远镜等；其二就是在空间科学领域里的投入，发射科学卫星。1957年以来美国等航天强国在空间科学领域里多次获得诺贝尔奖就充分说明了这一领域在实现基础前沿领域重大突破的作用。由此可见，发展空间科学是建设世界科技强国的一个非常重要的方面和实现途径。

关键词 空间科学，世界科技强国，国家需求

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2017.05.009

党的“十八大”以来，以习近平同志为核心的党中央总揽改革发展全局，综合分析国内外大势，把科技创新摆在国家发展全局的核心位置。2016年5月30日，全国科技创新大会、中科院第十八次院士大会和中国工程院第十三次院士大会、中国科学技术协会第九次全国代表大会（简称“科技三会”）召开，习近平总书记向全党全国发出建设世界科技强国的号召，在“为

*修改稿收到日期：2017年4月22日

chinaXiv:201706.00298v1

建设世界科技强国而奋斗”的重要讲话中，他强调：“必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展”[1]。这让我们深刻认识到发展空间科学是建设世界科技强国的重要途径。

1 我国发展空间科学的历史机遇

自1956年创建以来，中国航天事业已经走过了60多年的光辉历程。2001年，中国政府首次发布《中国的航天》白皮书，将中国的航天活动分为三大主题：空间技术、空间应用和空间科学[2]。中国航天事业是在基础工业比较薄弱、科技水平相对落后和特殊的国情、特定的历史条件下发展起来的，因此，必须优先发展空间技术，形成进入空间的能力，建立国防航天工业体系，以保障国家独立自主和国家安全；同时发展通信、导航、遥感等多种卫星应用系统，建设国家民用空间基础设施，保障经济发展，服务社会民生。经过50多年的发展，我国在空间技术、空间应用方面已取得了显著的进步，并产生了巨大的经济效益和良好的社会效益。然而，随着国家发展进入新的历史阶段，长期以来形成“重技术、轻科学”的惯性，造成了我国“既是航天大国，又是空间科学小国”的尴尬现状，也越来越与当前国家创新驱动发展和建设科技强国的需求不相适应。

习近平总书记在“科技三会”上“必须推动空间科学、空间技术、空间应用全面发展”的重要论述，是建立在总结世界各国科技发展历史和对当前国内外发展形势进行深入分析的基础上的。中国最高领导人首次对空间科学与空间技术和空间应用之间关系给出了指导性的原则。该论述将空间科学的重要性提高到了一个前所未有的高度，是习近平同志以历史纵深和全球视野，从时代发展前沿和国家战略高度，提出的新理念、新思想、新战略。我们必须从创新驱动发展的战略高度，结合建设世界科技强国的目标，进行深刻理解。

2 基础研究突破是增强我国原始创新能力的重要源头

自主创新可以分为原始创新、集成创新和引

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201706.00298v1

进消化吸收再创新。后两者都是在人家的版图上找路子，最终摆脱不了跟踪的窠臼，只有原始创新才是科学技术的源头创新。而基础科学研究则又是提升自主创新能力、实现原始创新的根本源头。

基础科学领域前沿的突破成为人类知识大爆发的引信。两次科学革命引发的工业革命和技术革命，极大提高了人类认识自然、利用自然的能力和社会生产力水平。一些国家抓住科技革命的难得机遇，如16 世纪的意大利、17 世纪的英国、18 世纪的法国、19 世纪的德国以及 20 世纪的美国等，都在基础研究突破的带动下，实现了科技实力、经济实力、国防实力的迅速增强，从而使得综合国力得到快速提升。

基础研究是整个科学体系的源头，也是撬动所有技术问题的总机关、装备发展的原动力[3]。世界科技强国无不高度重视，将其作为国家科技实力的根基。大部分科学知识可以获得，而研究发现能力却不可替代。基础研究所体现的追根求源、探索真理、创新思维以及科学精神和科学方法的传播渗透，是国家和民族文明程度的体现和永续发展的基础。从科技发展历史来看，凡是拥有基础理论突破能力的国家，其利用该理论推动技术创新的能力也一定是领先的。当前，作为硕果仅存的超级大国，美国在科技方面仍保有压倒性的优势和先进性，其根本原因与美国囊括了全世界 70% 的诺贝尔奖得主恐怕不无关系[4]。从这个意义上说，基础研究水平和创新能力是一个国家科技实力和综合国力的重要标志。

一个在基础科学新知识方面依赖于他人的民族，即使一时出现了快速的经济发展，从长期看也不能在国际竞争中处于领先优势。中华民族在历史上为人类文明进步作出过重要贡献，但是近代中国的科技发展落后了，现代自然科学的基本原理绝大多数来自于西方；现代基础科学所有重大发现和突破中，几乎没有中国人做出的。在相当程度上，中国仅是现代科学知识的使用国而非生产国。当前，我国虽然已经成为具有重要影响力的经济大国，科技创新对经济社会发展的支撑和引领作用也日益增强。但是，我国科技基础仍然薄弱，表现在科技创新能力特别是原创能力与科技强国还有很大差距，因此跟踪式的研究多，领跑原创成果少，导致一些关键领域的核心技术被发达国家封锁，受制于人的格局没有从根本上改变，也还没有在基础前沿领域实现重大突破……这些问题的根源均在于基础研究投入不足[5]。

重大原创成果是各国竞相抢占的战略高地，是世界科技强国的鲜明标志。我国要建设世界科技强国，就必须从源头抓起，夯实科技基础，在基础前沿领域跻身世界领先行列。

3 空间科学是基础科学前沿实现突破的重要平台

当今世界，新一轮科技革命蓄势待发，物质结构、宇宙演化、生命起源、意识本质等一些重大科学问题的原创性突破正在开辟新的科学前沿[6]。

Science 杂志在庆祝其创刊 125 周年之际，公布了125 个最具挑战性的科学问题[7]，其中主要涉及：宇宙由什么构成？地球人类在宇宙中是否独一无二？地球生命在何处产生、如何产生？宇宙是否唯一？是什么驱动宇宙膨胀？

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201706.00298v1

第一颗恒星与星系何时产生、怎样产生？超高能宇宙射线来自何处？是什么给类星体提供动力？黑洞的本质是什么？太阳系的其他星球上现在和过去是否存在生命？……

上述这些问题中很多都依赖于空间科学探索。爱因斯坦曾指出：“未来科学的发展无非是继续向宏观世界和微观世界进军”。空间科学的研究对象包括宇宙、生命、暗物质、引力波、太阳的活动规律和地球系统的演化等，占据着宏观和微观两大前沿，当代科学发展的历史已充分证明，大量科学发现和进展来自于对宇宙和太空的探索。

从 20 世纪中后期以来，基础研究在“好奇心导向”的自由探索基础上有了显著发展，“双力驱动”特征凸显，即以认识客观世界基本规律为驱动的自由探索和以国家经济社会发展和国家安全需求为驱动的定向基础研究相结合的双重驱动。尤为值得关注的是，在过去的几十年中，体现国家意志、具有特定科技目标、由政府组织优势力量、依赖团队和大科学平台的定向基础研究取得重大突破的成功几率不断提高，所占比重越来越大，已成为世界科学事业发展的关键部分，同时推动了科学和技术的飞速发展，并对国家经济社会发展和人类本身带来了重大而深远的影响。典型的实例如美国的空间科学计划——哈勃太空望远镜等，和地面大科学装置——激光干涉引力波天文台（LIGO）等。

开展有组织的、定向的基础研究，一是建设地面上的大科学装置以开展研究，包括探索微观粒子的加速器、对撞机、中微子探测器等以及探寻宏观宇宙的天文台、望远镜等；二是发射空间科学卫星及空间实验平台以开展研究。作为人类 1957 年进入太空后正式诞生的“新”基础科学，空间科学覆盖了宏观和微观两大前沿，涉及太阳系起源和演化规律、地球系统全球变化、生命起源和地外生命探索、人类生命离开地球能否生存、地球之外是否有生命（包括智慧生命）、太阳大爆发是否会威胁人类的生存、地球系统在人类活动逐渐增强的情况下将怎样演化等基本和重大基础前沿科学问题[8]。空间科学以空间飞行器（科学卫星等）为主要平台，有望实现重大原始创新，甚至引发重大基础性的变革，成为人类认知自然并获取新知识的重要源泉，也是今后实现基础前沿突破最佳平台之一。自1957 年以来，空间科学领域获 11 次诺贝尔奖，其中 7 次是基于大科学装置或科学卫星所取得的科学成就，2002 年和 2006 年的诺贝尔物理学奖授予了基于钱德拉 X 射线天文台卫星和宇宙背景探测者（COBE）卫星做出重大发现和原始突破的3位空间科学家。

4 空间科学的重要牵引带动作用

我国的空间技术发展早期是靠国防建设需求拉动的。这种拉动效果一直比较明显，但其相对比较单调，比如主要是强调空间分辨率的提高。如果没有空间科学研究项目全面、多样化的拉动，应用项目就会逐渐倾向于重复生产、平台型谱化、分系统设备共用化以及生产过程和零配件的标准化等，这些做法从本质上讲，对技术发展是限制的，对创新是遏制的。

科学发现“只有第一，没有第二”，每一项

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201706.00298v1

空间科学任务都不重复。空间科学“千奇百怪”而又从不重复的技术需求使得每项空间科学计划都是非重复性、非生产性的，包含了大量新需求、新思路、新设计、新材料、新工艺等，成为原始创新的重要驱动力[9]。因此对前沿技术及其产业的发展具有显著的牵引和带动作用。例如，飞行器轨道设计，星际航行能源和推进，超高时空基准，超高分辨率遥感器及其对平台稳定和指向精度提出的高要求，超高灵敏度所带来的对深冷低温的要求，超轻、超薄新型元器件以及有效载荷超高指标设计实现等。

空间领域前沿技术的转移转化还能引领战略性新兴产业。例如：星际自主导航、新一代信息技术（保密通信、新型传感器、新型元器件、太空互联网）、新能源、新材料、高端装备制造、生物医药等。科学卫星创新的有效载荷技术、卫星平台及载荷一体化技术、面向未来深空探测的电动太阳能帆（e-sail）技术等都将极大地牵引带动空间技术的原始创新，其中的若干颠覆性技术已成为航天强国利用和控制空间的新“杀手锏”，在国家空间安全领域形成了新的、强大的、以科技能力为支撑的战略威慑力。2005 年美国“深度撞击”探测器经过 4.31 亿公里飞行，在距地球 1.5 亿公里处成功击中了“坦普尔”彗星，其控制精度等同于“从 130 公里外准确命中一只苍蝇的眼睛”，为美国空间安全带来不可估量的战略威慑作用。

由空间科学计划的特殊需求带来的技术创新可直接辐射到人类生活的方方面面。美国国家航空航天局（NASA）每年转移转化 1 600 项新技术，每项科技成果的转移转化平均每年能带来 100 万美元经济效益；欧盟的空间计划在确保欧洲安全与经济繁荣方面也发挥着关键的作用，被称为“财富的发电机”和“保持全球竞争力的支柱”。可见对空间科学与探索的投入，除了知识所带来的潜在产出以外，也会有显著的经济和社会效益。空间科学为产业技术进步提供了源头供给，能够引领战略性新兴产业发展升级。这些新的技术突破，可以不断地向应用转化。美国哈勃望远镜带动发展起来的 CCD 成像技术，以及用于深空探索的 CMOS 成像技术，均已成为我们日常生活中必不可少的核心部件。

5 高度发展的空间科学是世界科技强国的重要标志

世界科技强国均意识到了发展空间科学与前沿技术的重要战略意义，在其国家战略中均不断制定空间科学规划，明确提出具体任务计划；并提升其在空间科学领域的创新能力，满足国家重大战略需求，抢占科技创新制高点。

美国是现在世界上最大的经济体，拥有强大的经济实力和军事实力，同时，美国也是世界科技强国。如果说“星球大战”“国际空间站”等航天任务还带有冷战的直接政治军事竞争浓厚色彩的话，美国后来实施的一系列空间科学探索计划，如以“勇气号”“机遇号”为代表的火星探索任务，“哈勃空间望远镜”“太阳与日球层观测卫星”等为代表的多个空间天文台等，均在科学探索等领域取得了举世瞩目的成就，为人类探索太空作出了巨大的贡献。可以说，这些空间科学计划取得的前无古人的科学成就，对于凸显并巩固美国强大的科技实力，起到了不可估量的重

ChinaXiv合作期刊

chinaXiv:201706.00298v1

要作用。

欧洲作为另一个拥有强大世界科技实力的地区，其空间科学也得到了高度发展。2014 年，欧洲的罗塞塔（Rosetta）探测器搭载的“菲莱”（Philae）着陆器在彗星“丘留莫夫·格拉西缅科”（67P）上成功登陆，实现了人类探测器首次登陆彗星；普朗克（Planck）卫星更精确地测绘了宇宙微波背景辐射，有力地支持了宇宙大爆炸模型；此外，其研制的国际空间站哥伦布舱在微重力和空间生命等领域取得了众多科学成果等。

我们的近邻日本，至今已发射了近 30 颗科学卫星和太阳系统探测器，例如，“隼鸟”号探测器于 2010 年实现了人类探测器首次在月球之外的小行星着陆并采样返回地球。日本在空间科学探索方面取得了世界领先的成果，并2次在基础科学前沿领域获得诺贝尔奖。

在自主空间科学计划较少的前提下，我国科学家利用国外科学卫星的数据也取得了大量的基础研究成果。但由于这些对我们开放的数据已经是比较滞后的数据，我们即使取得了一些成果，其影响度也不能和第一手数据相比。因此，我国目前在空间科学领域尚无国际同行公认的重大成就。主要原因是我国长期没有自己的空间科学计划，空间科学活动规模小、投入低[10]。

在“十二五”期间，中科院实施了空间科学先导专项，发射了系列科学卫星，其中暗物质粒子探测卫星（“悟空”号）和量子科学实验卫星（“墨子”号）正孕育重大原始创新突破。我国空间科学的动向引起了国际科学界的高度关注。*Science* 和 *Nature* 等国际顶级学术期刊 5 年来逾 10 次追踪报道中国空间科学卫星的重要进展：“中国发射卫星加入探测暗物质的空间科学竞争行列”“量子隐形传输的巨大飞跃”，并指出“中国将科学发现放到了其空间计划的核心位置”，“凸显了中国创新的广度以及对于创新的承诺”[11]。这些新的进展表明我国的空间科学已经进入了一个新的发展阶段。只要国家继续给予大力支持，相信我国的空间科学家一定能够在基础前沿领域不断做出重大的突破。

6 结束语

建设世界科技强国，是党中央在新的历史起点上作出的重大战略抉择。这一重大决策与实现中华民族伟大复兴中国梦的目标高度契合，符合建设社会主义现代化强国的理论逻辑和历史逻辑，体现了党中央对国家发展和民族未来的历史宣示，体现了强大的道路自信和时代担当。

空间科学具有很强的战略性和前沿性，是实现基础研究突破的最佳平台，从而也是提升自主创新能力、实现原始创新的重要源头。通过实施空间科学计划，不断取得基础性、战略性、原创性的重大成果，从而夯实科技基础，牵引带动关键领域突破核心技术，改变我国科技大而不强的格局，推动整体科技实力的综合提升，成为建设世界科技强国的新引擎和新标志。

参考文献

1 习近平. 为建设世界科技强国而奋斗——在全国科技创新大会、两院院士大会、中国科协第九次全国代表大会上的讲话. 北京: 人民出版社, 2016.

ChinaXiv合作期刊

2 中华人民共和国国务院新闻办公室. 2001年中国的航天. 北京: 人民出版社, 2001.
3 中共中央文献研究室. 习近平关于科技创新论述摘编. 北京: 中央文献出版社, 2016.
4 石海明. 科学、冷战与国家安全——美国外空政策变革背后的政治（1957—1961）. 北京: 解放军出版社, 2015.
5 中国科学院空间领域战略研究组. 中国至2050年空间科技发展路线图. 北京: 科学出版社, 2009.
6 中共中央, 国务院. 国家创新驱动发展战略纲要. 北京: 人民出版社, 2016.
7 Kennedy D. 125. Science, 2005, 309(5731): 19.
8 顾逸东. 我国空间科学发展的挑战和机遇. 中国科学院院刊, 2014, 29(5): 575-582.
9 吴季. 空间科学——我国创新驱动发展的重要阵地. 中国科学院院刊, 2014, 29(5): 583-589.
10 中国科学院. 科技发展新态势与面向2020年的战略选择. 北京: 科学出版社, 2013. 167-181.
11 Biever C. Science stars of China. Nature, 2016, 534: 456-457.

chinaXiv:201706.00298v1

Development of Space Science Is One of the Most Important Means for Building up the World Power in Science and Technology

Wu Ji

（National Space Science Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China）

Abstract In May last year, President Xi Jinping has established a three-step national goal for China, *i.e.*, in about 2050, China should become a world power in science and technology. To realize this goal, breakthroughs in the area of fundamental research are crucial. However, for a long time, as a developing country, China's national efforts have focused on applied objectives only. In the case of space developments, application satellites for weather forecast and telecommunications have been given more attention. Space science had much less chance to have its own satellite. Scientists have been using data from the science satellites of other countries, such as NASA and ESA. With the call from President Xi, we are facing a totally different situation now. To have breakthroughs in the area of fundamental research became an ever been national demand. To achieve this goal, two aspects need more governmental investments. One is the ground based large scientific instruments, such as cyclotrons or large telescopes. The other is the space science satellites. Compared with other application satellites, space science satellite has much more variable requirements for technology. In summary, to have a developed space science program and fruitful achievements on fundamental research are certainly symbolic and important means for building up a world power in science and technology.

Keywords space science, world power on science and technology, national demands

吴　季　中科院国家空间科学中心主任，研究员，中国空间科学学会理事长，国际空间研究委员会（COSPAR）副主席，国际宇航科学院（IAA）院士，IEEE会员，中科院“空间科学先导专项”负

ChinaXiv合作期刊

责人。曾任地球空间“双星计划”应用系统总设计师、“萤火一号”火星探测器首席科学家、“嫦娥”1、2、3号科学探测有效载荷总指挥等。主要研究领域包括：分布式空间探测技术、微波辐射干涉成像技术，以及空间科学与技术发展战略和政策研究。E-mail: wuji@nssc.ac.cn

Wu Ji Received B.S. and M.S. degrees from Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China, and, Ph.D. degree from Technical University of Denmark, Copenhagen, Denmark, in 1993. His current research interests include microwave interfeometric radiometers (MIR), multi-satellite space distributed exploration technology. From 1985 to 1986, he was with European Space Research and Technology Centre (ESTEC), Noordwijk, the Netherland, as a United Nations Research Fellow, where he worked on contoured beam satellite antenna design. From 1986 to 1989, he was with the Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing, China, where he worked on antenna theory and design. Since 1996, he has been a Full Professor with the CAS Key Laboratory of Microwave Remote Sensing, National Space Science Center (NSSC), Chinese Academy of Sciences (CAS), Beijing, China. From 1996 to 2000, he, as a visiting professor, had visited several universities in the US, including the University of Massachusetts at Amherst, the University of Texas at Arlington, and the Massachusetts Institute of Technology (MIT). He is currently the director general of NSSC. He was the chief designer of ground application system of Double Star Program, project manager of payload sub-system of CE-1, CE-2, and CE-3, chief scientist of YH-1 mission. Currently he is the chief scientist and project leader of Strategic Priority Program on Space Science of CAS. Dr. Wu Ji is the vice president of Committee for space research (COPSAR), fellow of the IEEE Geoscience and Remote Sensing Society, and full member of International Astronautics Academy. E-mail: wuji@nssc.ac.cn

chinaXiv:201706.00298v1